

ХІІІ Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

УДК 681.586

Стещенко Я.В., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ МЕМС ДАТЧИКІВ В COMSOL MULTIPHYSICS

Анотація. В статті розглянуто основні проблеми розроблення та виробництва сучасних МЕМС пристроїв. Виконано аналіз мікроелектромеханічних систем на базі модулів МЕМС. Проаналізовано можливості використання моделювання МЕМС датчиків в середовищі COMSOL Multiphysics з метою досягнення максимальної точності контролю та ефективності розрахунку чисельної моделі датчиків.

Ключові слова: МЕМС, моделювання, датчики, COMSOL Multiphysics.

ВСТУП

На сьогодні одним з найбільш інтенсивних і динамічних напрямків світової індустрії, що розвиваються, стала мікросистемна техніка. Її стрімкий розвиток ґрунтується на застосуванні удосконалених мініатюрних датчиків інерційної і зовнішньої інформації, мікродвигунів і перетворювачів. Застосування нових технологій мікроелектромеханічних систем (МЕМС) дозволило зменшити геометричні характеристики датчиків, їх енергоспоживання та вартість. Все це розширило сферу застосування мікросистемної техніки в різних галузях та сферах діяльності.

З огляду на широкі можливості МЕМС пристроїв, вирішення проблем проектування та виробництва таких пристроїв є актуальною задачею для прецизійного мікроелектронного приладобудування. Така задача може бути вирішена шляхом застосування нових технологій, технічних рішень та методик проектування на основі нових математичних моделей та програмних продуктів. Досягнення високої якості МЕМС пристроїв ставить перед розробниками комплекс таких актуальних завдань: визначення фізичних властивостей нових конструкційних матеріалів, зменшення похибок виготовлення чутливих елементів, зменшення похибки вимірювання датчиків, розвиток і поліпшення вітчизняної технології МЕМС, скорочення термінів проектування і виготовлення прототипів нових МЕМС, комплексна перевірка проектів до початку фактичного виробництва за допомогою сучасних електронних засобів [1].

Найбільш поширеними на сьогодні є інерційні датчики (датчики кутової швидкості, гіроскопи, інклінометри і акселерометри). Це пов'язано з тим, що висока необхідністю виявлення руху та керування ним у багатьох галузях промисловості. Так в оборонній та аерокосмічній галузях використання інерційних вимірювальних пристроїв (ІВП) та інших систем, в основі яких гіроскопи, поширене для завдань навігації, управління польотом та інш. Сучасний розвиток нових матеріалів, методів та засобів передачі та опрацювання інформації відкрив нові сфери застосування інерційних систем, такі як цивільна промисловість, медицина, транспорт, авіабудування тощо.

МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Процеси проектування і моделювання мікроелектромеханічних систем (MEMS) є дуже важливими і відповідальними. При конструюванні резонаторів, гіроскопів, акселерометрів та приводів з малими лінійними розмірами необхідно враховувати вплив на їх роботу багатьох фізичних явищ. Середовище COMSOL

Multiphysics ідеально підходить для моделювання мікроелектромеханічних систем через наявність в ньому модуля MEMS (Мікроелектромеханічні системи) з відповідними засобами моделювання. В даному середовищі є інтерфейси для різних пов'язаних фізичних явищ, включаючи взаємодію електромагнітних полів з об'єктами, вплив тепла та взаємодія рідини з ними. До такої моделі можна включати різні методики демпфування: демпфування в тонких газових плівках, анізотропні коефіцієнти втрат в твердих тілах і матеріалах з п'єзоефектом, термopружне демпфування. При моделюванні пружних коливань та хвиль ідеально узгоджені шари забезпечують відповідну сучасним вимогам ступінь поглинання вихідної енергії пружної взаємодії [2, 3].

Інструменти середовища моделювання п'єзоелектричних і п'єзорезистивних ефектів дозволяють працювати з будь-якими комбінаціями композитних п'єзопружно-діелектричних матеріалів. У модулі MEMS присутні засоби аналізу стаціонарних і перехідних режимів, аналізу власних частот, параметричного аналізу, аналізу квазістатичних і частотних характеристик. Можна визначати зосереджені параметри ємності, повного опору і повної провідності, а також моделювати підключення до зовнішніх електричних ланцюгів з використанням списків SPICE. Модуль MEMS, розроблений на основі базових можливостей COMSOL Multiphysics, можна використовувати для оцінювання впливу практично всіх явищ, пов'язаних з механікою в мікромасштабі.

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНІ ПРИВОДИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Відомо, що при зменшенні розмірів пристрою вплив електростатичних сил посилюється і врахування цього в процесі моделювання MEMS пристроїв є дуже важливим. Типове застосування модуля MEMS - це мікроелектромеханічні резонатори з електростатичним порушенням, що працюють за постійної напруги зміщення. У модулі MEMS є спеціалізований інтерфейс для електромеханіки, який у випадку з резонаторами MEMS використовується для розрахунку зсуву резонансної частоти при зміні постійної напруги зміщення. При цьому резонансна частота зменшується при підвищенні прикладеної напруги через зменшення жорсткості електромеханічної системи. З огляду на малі розміри пристрою, резонансна частота знаходиться в мегагерцовому діапазоні навіть для простої згинальної моди коливань. Крім того, збільшення ролі електромагнітних сил при зменшенні розмірів дозволяє створити ефективний ємнісний привід, який неможливо отримати при звичайних розмірах приводу. Крім того, в модулі MEMS присутній інтерфейс Electromechanics (Електромеханіка) для врахування впливу ізотропної електрострикції [2].

ТЕРМІЧНІ ПРИВОДИ І ТЕПЛОВІ НАПРУГИ

При зменшенні розмірів зростає роль теплових сил в порівнянні з силами інерції. Це забезпечує достатньо високу швидкість мікроскопічних термоприводів для застосування в мікромасштабі. Модуль MEMS можна використовувати для моделювання джоулевого нагріву і виникнення теплових напружень, включаючи деталі розподілу втрат на опір. Теплові ефекти також грають важливу роль при виробництві багатьох промислових

мікроелектромеханічних систем, оскільки термічні напруги в обложених тонких плівках грають велику роль в різних додатках. У модулі MEMS є спеціальні фізичні інтерфейси для розрахунку теплових напружень з розширеними можливостями обробки і візуалізації вихідних даних, включаючи поля напружень і деформацій, основні напруги і деформації, діючі значення напруг, поля зміщень і багато іншого.

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДАТЧИКА ТИСКУ ШЛЯХОМ ЙОГО МОДЕЛЮВАННЯ

За допомогою розрахунку розподілу швидкості і тиску для різних рівнів граничних напружень, які діють на датчик тиску, існує можливість аналізу здатності датчика виявляти зміни в навколишньому середовищі. Це покладено в основу моделювання з урахуванням зростання граничних напружень, яке супроводжується наближенням об'єкта до датчика. Ця зміна в граничних напруженнях також змінює швидкість і тиск датчика [3].

За результатами моделювання, на рисунку 1 видно, що датчик фіксує зміни тиску при зростанні граничних напружень.

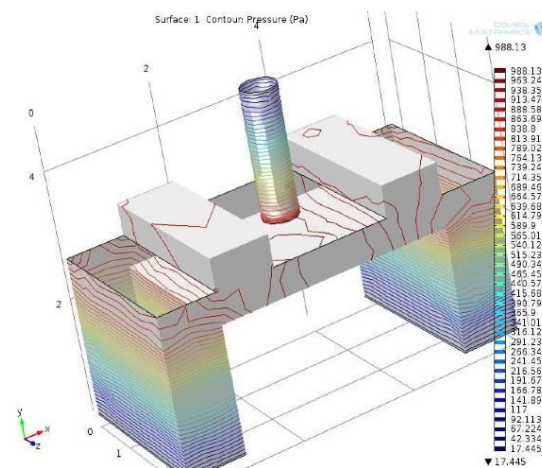


Рисунок 1. Графічне відображення розподілу тиску в МЕМС-датчику тиску.

Чутливість такої моделі визначається, як зміна опору тензOMETричного датчика на одиницю зміни механічної напруги. Аналіз результатів моделювання показав збільшення опору, який виникає при зміні тиску, що свідчить, що змодельований датчик є доволі чутливим для виявлення перепаду тиску в 5 Н/м².

В цілому, подібний пасивний датчик тиску не тільки досить чутливий, щоб добре виконувати свої функції, але, до того ж, він енергетично вигідний, безпечний та ізольований. Змодельована конструкція є хорошою енергозберігаючою альтернативою для застосування в процесі підводних вимірюваннях тиску.

Таким чином, інтерфейси різних фізичних процесів, таких як взаємодія рідини з різними об'єктами, п'єзореzистивних ефектів і моделі гіперпружних матеріалів, доступні в програмному забезпеченні COMSOL, надають можливість безпосереднього моделювання датчиків такого роду для різних сфер застосування.

ВИСНОВКИ

МЕМС технології є дуже затребуваними в усьому світі, та використовуються в багатьох сферах: індустріальній, громадянській, військово-морській, аерокосмічній і оборонній. Але зарубіжна МЕМС - продукція, яка доступна на вітчизняному ринку, в більшості випадків не відповідає технічним вимогам замовників (через меншу, ніж потрібно точність, діапазон, стабільність вимірювань і т.д.).

В даній роботі приведено результати аналізу моделі МЕМС пристрою, побудованої за принципами, викладеними в [4]. Для того, щоб виконувати свою роботу по забезпеченню взаємодії людини з інтернетом речей, мікроелектромеханічні системи повинні функціонувати так, як очікується, і тоді, коли очікується. Розробники і виробники повинні бути впевнені, що їх датчики і МЕМС-пристрої забезпечують потрібні робочі характеристики, незважаючи на їхні маленькі розміри, складний пристрій і жорсткі запити ринку, що вимагає нових та інноваційних розробок в найкоротші терміни. Саме для цього зручно використовувати середовище COMSOL, яке містить зручний набір орієнтованих на МЕМС фізичних інтерфейсів, які використовуються для вирішення електричних, механічних, теплових та інших задач. Це дозволить: використовувати великі технічні бібліотеки моделей електромеханічних, оптичних, мікрорідинних, СВЧ і магнітомеханічних компонентів, точність яких перевірена лабораторними дослідженнями; скоротити до мінімуму час виготовлення прототипів МЕМС-виробів (від вихідного ТЗ до готового пристрою); істотно знизити вартість розробки і час виходу виробу на ринок; отримати попереднє уявлення про типову технологічність схеми виробництва того або іншого МЕМС- виробу в залежності від вихідного ТЗ; здійснювати роботу в наскрізній системі проектування МЕМС-пристроїв (з функціями моделювання), що забезпечує широкий доступ до МЕМС технологій оптимальним за вартістю і часом способом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Урманов Д. М. КОНЦЕПЦИЯ по развитию производства МЭМС-изделий в России на период до 2017г. [Електронний ресурс] / Д. М. Урманов // Русская Ассоциация МЭМС – Режим доступу до ресурсу: http://www.microsystems.ru/news/news_155/concept.pdf.
- [2] Анализируйте микроэлектро- механические системы с помощью модуля МЭМС [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/mems-module>.
- [3] Янкин С. Как моделировать МЭМС-датчики в COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] / Сергей Янкин – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/video/modeling-mems-sensors-in-comsol-webinar-ru>.
- [4] Fairclough С. Моделирование МЭМС-Датчика Давления Заимствованного у Пещерных Рыб [Електронний ресурс] / Caty Fairclough. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/blogs/simulating-a-mems-based-pressure-sensor-inspired-by-a-cave-fish/>.

Наук. керівник – ст.викладач Лисенко Ю.Ю.